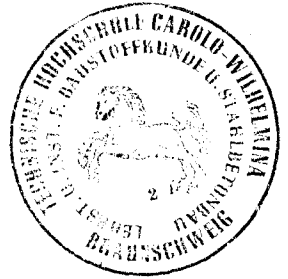


INSTITUT FÜR BAUSTOFFKUNDE UND STAHLBETONBAU
DER TECHNISCHEN UNIVERSITÄT BRAUNSCHWEIG
DIREKTOREN: PROF. DR.-ING. K. KORDINA – PROF. DR.-ING. G. REHM

K
36

30-0381/001



Brandversuche an sanierten Spannbetonträgern.

Bericht erstattet

von

Dipl.-Ing. Lore Krampf

Januar 1970

30-0381/001

Die Arbeiten wurden im Auftrage des Bayerischen Staatsministeriums
des Innern (Az.: IV B 8 - 9181/1 - 61) durchgeführt.

Postsendungen:
33 Braunschweig, Beethovenstraße 52
Erfüllungsort und Gerichtsstand Braunschweig

Fernsprecher: (0531) 478 22 81

Fernschreiben 9 526 98 ibstb d

Zur Vermeidung von Verzögerungen wird dringend gebeten, Zuschriften nur an das Institut zu richten, nicht aber
an einzelne Mitarbeiter.

<u>Inhalt</u>	<u>Seite</u>
<u>1. Allgemeines; Zweck der Untersuchungen</u>	3
<u>2. Versuchsplanung und - Vorbereitung</u>	3
2.1 Prüfkörper	4
2.11 Konstruktion und Abmessungen	4
2.12 Baustoffe	4
2.13 Klebfuge	5
2.14 Putz	6
2.15 Meßquerschnitte	7
2.16 Lagerung und Trocknung	7
<u>3. Versuchsaufbau und - Durchführung</u>	8
3.1 Brandraum und Beheizung	8
3.2 Einbau und Belastung der Prüfkörper	8
3.3 Messungen während der Versuche	10
3.4 Sonstige Beobachtungen	10
<u>4. Versuchsergebnisse</u>	11
4.1 Versuchskörper 1	11
4.11 Brandraumtemperaturen	11
4.12 Temperatur in der Klebfuge	11
4.13 Durchbiegung in Feldmitte	12
4.14 Sonstige Beobachtungen	12
4.2 Versuchskörper 2	13
4.21 Brandraumtemperatur	13
4.22 Temperatur in der Klebfuge	13
4.23 Durchbiegung in Feldmitte	13
4.24 Sonstige Beobachtungen	14
4.3 Versuchskörper 3	14

	Seite
4.31 Brandraumtemperatur	14
4.32 Temperatur in der Klebfuge	14
4.33 Durchbiegung in Feldmitte	15
4.34 Sonstige Beobachtungen	16
<u>5. Auswertung der Versuchsergebnisse</u>	16
5.1 Eigenschaften des Klebers	16
5.2 Erwärmung der Klebfuge und Schutzwirkung des Putzes	17
5.3 Beanspruchung der Klebfuge infolge Wärmeeinwirkung	19
5.4 Zusammenfassung	21
5.5 Schlußfolgerung	22
Literaturverzeichnis	23
Verzeichnis der Anlagen	24

Anlagen.

1. Allgemeines, Zweck der Untersuchungen

Im Zusammenhang mit den teilweise schweren Schäden, die an Spannbetondecken aus Tonerdeschmelzzement aufgetreten sind, hat das Materialprüfungsamt für das Bauwesen der Technischen Hochschule München umfangreiche Erhebungen und Untersuchungen angestellt, über die in [1] berichtet wird. Es hat sich herausgestellt, daß ein Teil der betroffenen Konstruktionen erhalten werden kann, wenn eine rechtzeitige und sinnvolle Sanierung stattfindet. Verschiedene denkbare Sanierungsverfahren wurden vom MPA München auf ihre Verwendbarkeit geprüft. Nachdem sich besonders eine Methode als brauchbar erwiesen hatte, erhielt das Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig am 6.3.1969 vom Bayerischen Staatsministerium des Innern den Auftrag, dieses Verfahren auf sein Verhalten unter Feuerangriff zu prüfen.

Das Verfahren ersetzt die durch Korrosion gefährdete Zugzone des Deckenträgers durch eine Spannbetonleiste, die mit einem geeigneten Kleber unter den alten Balken geklebt wird. Es wird unterstellt, daß die Betondruckzone der alten Konstruktion voll tragfähig erhalten ist und bei dem neu entstandenen System mitwirkt.

Beim Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der T.U. Braunschweig wurden insgesamt drei Brandversuche durchgeführt.

2. Versuchsplanung und -vorbereitung

Die Planung der Versuche erfolgte in Zusammenarbeit mit dem MPA München und in Anlehnung an die dortigen Versuche. Die Konstruktion der Prüfkörper wurde so festgelegt, daß eine möglichst gute Übereinstimmung mit den Münchner Versuchen erreicht wurde. Im Gegensatz zu München konnte beim Brandversuch kein aus dem Deckenverband herausgelöster Träger untersucht werden, sondern die Gesamt-Deckenkonstruktion. Die Beobachtungsmöglichkeiten während des Versuchs waren dadurch beschränkt.

2.1 Prüfkörper

2.1.1 Konstruktion und Abmessungen

Die zu prüfenden Deckenelemente bestanden aus I-förmigen Stahlbetonfertigteilbalken $b/d = 11/21$ (cm) (s. Anlage 1), deren Achsabstand $e = 62,5$ cm betrug. Die Stützweite war - abhängig von den verfügbaren Prüfständen - mit $l = 4,75$ m festgelegt. Zwischen den Deckenträgern befanden sich zweikammerige Deckenfüllkörper aus Bimsbeton (System OMNIA) mit einer Steinhöhe von $d = 20$ cm. Die Konstruktion wurde verbunden durch eine Ortbetondruckplatte, deren Dicke über den Trägern $d_1 = 5$ cm, über den Füllkörpern $d_2 = 6$ cm betrug. Aus Transport- und Montagegründen wurden an den Plattenstirnseiten Stahlbetonbalken (Ortbeton) angeordnet.

Die Fertigteilbalken erhielten nur eine leichte Bewehrung zur Abdeckung der Eigengewichtsbeanspruchung; zur Übernahme der Gesamtdeckenlast einschl. Nutzlast reichte diese Bewehrung nicht aus.

Die Deckenzugzone wurde gebildet aus Spannbetonfertigteilleisten der Abmessungen $b/d = 11/6$ (cm), die unter die Deckenträger geklebt wurden (s. Anlage 1).

Die Gesamtmaße der Prüfkörper betrugen

$$\begin{aligned} L &= 5,00 \text{ m} \\ B &= 1,985 \text{ m} \\ d &= 26 \text{ cm} \quad (\text{ohne Spannbetonleisten}). \end{aligned}$$

Die Deckenkonstruktion ist auf Anlage 2 dargestellt.

2.1.2 Baustoffe

Die Stahlbetonfertigteilbalken bestanden aus Kiesbeton B 450 und waren mit Stahl der Güte St III b bewehrt.

Für die Spannbetonleisten wurde Kiesbeton der Güte B 600 verwendet, und die Vorspannung erfolgte im Spannbett mit Sigma-St 145/160 oval 30 unter einer Spannbett-Stahlspannung von $\sigma_{zv}^{(o)} = 8200 \text{ kp/cm}^2$.

Die Betonmischungsaufbauten wurden von dem Fertigteillieferwerk nicht mitgeteilt.

Für den Ortbeton (Druckplatte) wurde ein Fertigbeton B 225 der Firma Union-Beton Niedersachsen, Braunschweig, bezogen, der sich wie folgt zusammensetzte:

Betonsand	0 - 3 :	810 kg/m ³
Betonsand	3 - 7 :	760 kg/m ³
Betonkies	7 - 15 :	390 kg/m ³
<hr/>		
Betonkiessand	0 - 15 :	1960 kg/m ³
Zement PZ 275	:	280 kg/m ³

Das planmäßige Wasserzementverhältnis betrug $w/z = 0,68$.

Bei der Güteprüfung nach DIN 1048 ergab sich eine Würfeldruckfestigkeit

$$\begin{aligned} \beta_{28} &= 238 \text{ kp/cm}^2 \\ \text{bzw.} &= 240 \text{ kp/cm}^2 \\ \text{bzw.} &= 234 \text{ kp/cm}^2. \end{aligned}$$

Die mittlere Betonrohddichte betrug

$$\begin{aligned} \rho_{28} &= 2,28 \text{ kg/dm}^3 \\ \text{bzw.} &= 2,31 \text{ kg/dm}^3 \\ \text{bzw.} &= 2,25 \text{ kg/dm}^3. \end{aligned}$$

2.1.3 Klebfuge

Die Spannbetonleisten als neue Zugzone wurden mit Kunststoffkleber an der Unterseite der Deckenträger befestigt. Verwendet wurde "Icosit-Kunststoff KC 220/60", ein Erzeugnis der Firma Lechler-Chemie GmbH, Stuttgart. Nach

Angabe des Herstellers handelt es sich dabei um einen lösemittelfreien, kalthärtenden Zweikomponenten-Kunststoff auf Epoxidharzbasis.

Die Verarbeitung des Klebers erfolgte genau nach Vorschrift des Herstellers [2]. Ein Gewichtsteil Harz wurde mit einem Gewichtsteil Härter angerührt und mit zwei Gewichtsteilen feuergetrocknetem Quarzsand 0 - 0,2 mm der Firma Schlingmeier, Rhode/Elm, spachtelbar gemacht. Als Rührwerk diente ein selbst hergestellter Mixquirl in einer elektrischen Bohrmaschine mit 490 U/min. Jede angerührte Mischung wurde in weniger als 30 min verarbeitet.

Für die Klebearbeiten wurde zunächst das Deckenelement aufgebockt, so daß es von unten frei zugänglich war. Die Klebeflächen - Unterseite der Deckenträger und Spannbetonleisten -, bei denen es sich in beiden Fällen um Beton aus glatter Stahlschalung handelte, wurden sodann mittels Stahlbürste und Druckluft von anhaftendem Staub befreit. Der Klebemörtel wurde mit Spachteln auf die Spannbetonleisten aufgetragen, und zwar in der Mitte etwas dicker, um beim Anpressen Fehlstellen zu vermeiden. Die vorbereiteten Leisten wurden dann unter die Deckenträger gebracht und angedrückt. Bei den Randleisten konnte das mit Schraubzwingen geschehen, während bei den Mittelleisten Holzstempel, die festgekeilt wurden, zu Hilfe genommen werden mußten.

Im angepreßten Zustand betrug die Klebfugendicke 4 - 5 mm. Seitlich herausquellender Kunststoffmörtel wurde so gut wie möglich entfernt.

Die Preßvorrichtungen wurden nicht vor 24 Std. Wirkungszeit entfernt.

2.1.4 Putz

Die Deckenunterseite der Prüfkörper wurde geputzt mit einem Kalk-Zementmörtel 1:1:8, unter dem, um eine möglichst einwandfreie Haftung zu erreichen, ein Zementspritzwurf aufgebracht worden war.

Für den Versuch 1 wurden lediglich die Kehlen, die durch Spannbetonleiste

als Vertikalfläche und Deckenspiegel als Horizontalbegrenzung gebildet wurden, geputzt. Im Querschnitt bildeten die Putzkörper gleichschenklige Dreiecke (vergl. Anl. 7). Der eigentliche Deckenspiegel blieb unverputzt.

Für die Versuche 2 und 3 wurden die Deckenspiegel 1 cm dick geputzt. Die Putzdreiecke in den Kehlen bildeten unten einen Winkel von $\sim 60^\circ$ (vergl. Anl. 8 und 9).

2.1.5 Meßquerschnitte

Für die Messung der Temperaturen während des Brandversuches wurden Feconst-Thermoelemente in die mittleren Klebefugen eingebaut, und zwar wurden je Probekörper 6 Elemente in Fugenmitte (bei 0,5 l und 0,125 l) angeordnet und 8 Elemente an den Fugenrändern (bei 0,125 l) (vergl. Anl. 3, 7 bis 9).

2.1.6 Lagerung und Trocknung

Die Prüfkörper wurden in einer geschlossenen Halle, die annähernd des Klima 20/50 aufwies, mehrere Monate gelagert. Das Putzalter betrug beim Prüfkörper 1 einen Monat, beim Prüfkörper 2 vier Monate und beim Prüfkörper 3 einen Monat.

Durch Trocknung von Putzmörtelproben, die für den untersuchten Querschnitt repräsentativ waren, bei 105°C bis zur Gewichtskonstanz wurde zum Zeitpunkt der Versuche der mittlere Putzfeuchtigkeitsgehalt beim

Prüfkörper 1	zu 1,6 Gew.-%, beim
Prüfkörper 2	zu 1,2 Gew.-% und beim
Prüfkörper 3	zu 1,5 Gew.-%

ermittelt.

3. Versuchsaufbau und -durchführung

3.1 Brandraum und Beheizung

Die Versuchskörper wurden als obere Abdeckung einer Brandkammer mit den lichten Abmessungen

$$L = 4,00 \text{ m}$$

$$B = 2,32 \text{ m}$$

$$H = 1,55 \text{ m}$$

untersucht. Die innere Ausmauerung dreier Brandkammerwände und des Bodens bestand aus Hartschamotte, während die vierte - transportable - Wand durch Gasbetonsteine geschützt war. Oben war die Restfläche der Kammer mit Gasbetonplatten abgedeckt.

Die Beheizung erfolgte durch vier Ölbrenner unter Verwendung von Heizöl EL nach DIN 51 603 und folgte der Einheitstemperaturkurve DIN 4102. Je zwei Brenner, deren Flammenachsen parallel zur Deckenspannrichtung 0,67 m über dem Brandkammerboden verliefen, befanden sich an den gegenüberliegenden Schmalseiten der Kammer. Die Flammenlänge betrug im allgemeinen 0,8 bis 1,0 m. Die Rauchgase wurden durch einen Abzug im Boden der Brandkammer abgesaugt.

3.2 Einbau und Belastung der Prüfkörper

Beim Prüfkörper 1 hatten die untergeklebten Spannbetonleisten die gleiche Länge wie das Deckenelement. Sie wurden also bis in das Auflager geführt und übertrugen dort die Gesamtlast der Decke in die Unterkonstruktion.

Bei den Prüfkörpern 2 und 3 endeten die Spannbetonleisten stumpf vor dem Auflager.

Die Belastung der Deckenelemente erfolgte so, daß die zulässige Querkraft am Auflager der Konstruktion, wie sie vom MPA München angegeben wurde,

erreicht wurde. Bedingt durch die gegenüber den Münchener Versuchen unterschiedliche Stützweite wurde das Gebrauchsmoment größer als die Münchener Werte.

$$\text{zul } Q = 0,5 \sqrt{\beta_{w28}} \cdot b \cdot z$$

$$\text{mit } \beta_{w28} = 450 \text{ kp/cm}^2$$

$$b = 5 \text{ cm}$$

$$z = 7/8 h$$

$$h = 29 \text{ cm}$$

$$\text{zul } Q' = 0,5 \sqrt{450} \cdot 5 \cdot \frac{7}{8} \cdot 29 = 1,35 \text{ Mp/Rippe}$$

$$Q' = q' \cdot 0,5 \ell$$

$$\text{mit } \ell = 4,75 \text{ m}$$

$$\text{zul } q' = \frac{1,35}{0,5 \cdot 4,75} = 0,569 \text{ Mp/m}$$

$$\text{vorh } M' = q' \frac{\ell^2}{8} = 1,68 \text{ Mpm/Rippe.}$$

Damit blieb das vorhandene Gebrauchsmoment unter dem zulässigen Wert

zul $M' = 1,86 \text{ Mpm/Rippe.}$

Die Schubspannung in der Klebefuge am Auflager betrug im Gebrauchszustand nach Stadium I :

$$\tau = Q' \cdot S / Jb$$

$$\text{mit } Q' = 1350 \text{ kp/Rippe}$$

$$S \sim 1120 \text{ cm}^3$$

$$J \sim 46700 \text{ cm}^4$$

$$b = 11 \text{ cm}$$

$$\tau = 2,9 \text{ kp/cm}^2 ;$$

nach Stadium II :

$$\tau_o = Q'/b \cdot z$$

$$\text{mit } b = 11 \text{ cm}$$

$$z = 7/8 h$$

$$h = 29 \text{ cm}$$

$$\tau_o = 4,8 \text{ kp/cm}^2.$$

Für die Rohdecke allein (ohne Spannbetonleisten) ergibt sich das zulässige Moment im Stadium II :

$$\text{zul } M' = \text{vorh } F_e \cdot h / k_e$$

$$\text{mit } F_e = 1,0 \text{ cm}^2 \quad (2 \text{ III } \varnothing 8)$$

$$h = 23,5 \text{ cm}$$

$$k_e = 0,44 \text{ für } \sigma_h / \sigma_e = 30/2400$$

$$\text{zul } M' = 0,53 \text{ Mpm/Rippe} \ll \text{vorh } M' = 1,68 \text{ Mpm/Rippe.}$$

Setzt man Stadium I voraus, so betragen die Betonzugspannungen am unteren Querschnittsrand

$$\sigma_u = \text{vorh } M' / W_u$$

$$\text{mit } M' = 1680 \text{ kpm/Rippe}$$

$$W_u \sim 1550 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_u = 108 \text{ kp/cm}^2.$$

Unter beiden Voraussetzungen ist also völliges Versagen der Rohdeckenkonstruktion unter Gebrauchslast anzunehmen.

Das Eigengewicht der Konstruktion betrug:

OMNIA-Rohdecke 20/62,6	=	0,132 Mp/m
Ortbeton, 6 cm	=	0,094 Mp/m
Spannbetonleiste	=	0,017 Mp/m
vorh h'	=	0,243 Mp/m
zul q'	=	0,569 Mp/m
zul p'	=	0,326 Mp/m
entspr. p	=	0,52 Mp/m ² .

Die Nutzlast p' bzw. p wurde durch hydraulische Pressen über Lastverteiler aus IPB-Profilen in insgesamt sechzehn Punkten, angeordnet in $\frac{l}{8}$, $\frac{3}{8}l$, $\frac{5}{8}l$ und $\frac{7}{8}l$, in das Deckenelement eingetragen. Um gleichmäßiges Biege- und Durchbiegungsverhalten zu erreichen, wurde der bei den äußeren Deckenträgern fehlende Eigengewichtsanteil durch erhöhte Einzellasten ausgeglichen.

Die Pressenkraft wurde während der Versuche automatisch konstant gehalten.

Die Versuchsanordnung ist auf Anlage 3 dargestellt.

3.3 Messungen während der Versuche

Das Meßprogramm umfaßte folgende Aufgaben:

- a) Messung der Brandraumtemperaturen mit sechs NiCr-Ni-Thermoelementen, die sich bei Versuchsbeginn 10 cm unterhalb der Deckenkörper befanden.
- b) Messung der Temperatur in der Klebefuge mit vierzehn Fe-const-Thermoelementen, von denen sechs in Fugenmitte und acht am Fugenrand angeordnet waren (vergl. Anl. 3, 7 bis 9).
- c) Messung der Vertikaldurchbiegung in Feldmitte des Prüfkörpers mit Hilfe feiner Stahldrähte, die von der jeweiligen Meßstelle zu Rollenmeßgeräten geführt wurden, die eine Ablesegenauigkeit von 1/10 mm gestatteten.

3.4 Sonstige Beobachtungen

Das Verhalten der Prüfkörper wurde während des Versuches dauernd kontrolliert, insbesondere wurde auf Rißbildung und Feuchtigkeitsaustritt geachtet.

4. Versuchsergebnisse

4.1 Versuchskörper 1

4.1.1 Brandraumtemperatur

Der Versuchskörper 1 wurde 120 min lang der Beflammung ausgesetzt. Der Temperatur-Zeit-Verlauf im Brandraum entsprach der Einheitstemperaturkurve nach DIN 4102. Er ist auf Anlage 4 dargestellt.

4.1.2 Temperatur in der Klebfuge

In Anlage 7 ist der Verlauf des Temperaturanstiegs in der Klebfuge dargestellt. Dabei sind die Meßstellen in Fugenmitte als Meßstellen I und diejenigen am Fugenrand als Meßstellen II bezeichnet.

Unter Ausschluß der offenbar unsicher anzeigenden Meßpunkte ergibt sich für den Zeitpunkt $t = 30$ min Versuchsdauer in Fugenmitte eine mittlere Temperatur von $T_{\text{Mitte}} = (97+101+100+102+103):5 = 100,6^{\circ}\text{C}$ und am Fugenrand eine mittlere Temperatur von $T_{\text{Rand}} = (145+133+105+104+106+115):6 = 118,0^{\circ}\text{C}$. Wenn man die Temperaturverteilung über die Fugenbreite als quadratische Parabel annimmt, ergibt sich die mittlere Temperatur zu:

$$T_m = T_{\text{Mitte}} + \frac{1}{3} (T_{\text{Rand}} - T_{\text{Mitte}})$$

$$T_{m \ 30'} = 101 + \frac{1}{3} (118 - 101) = 107^{\circ}\text{C}.$$

Die entsprechenden Werte zum Zeitpunkt $t = 40$ min betragen:

$$T_{\text{Mitte}} = (111+121+104+121+122):5 = 115,8^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Rand}} = (145+187+220+173+239):5 = 192,8^{\circ}\text{C}$$

$$T_{m \ 40'} = 116 + \frac{1}{3} (193 - 116) = 142^{\circ}\text{C}$$

4.1.3 Durchbiegung in Feldmitte

Folgende Durchbiegungen in Feldmitte wurden registriert:

$f_{0'} (g+p)$	=	0	gesetzt
$f_{30'}$	=	27,1 mm	
$f_{40'}$	=	35,1 mm	
$f_{60'}$	=	52,6 mm	
$f_{90'}$	=	75,8 mm	
$f_{120'}$	=	111,4 mm.	

4.1.4 Sonstige Beobachtungen

Zeitpunkt	B e o b a c h t u n g
20'	Putzriß in der Kehle ca. 50 cm lang, vom Auflager ausgehend.
26'	Gleiche Beobachtung am zweiten Träger.
28'	Kleber tropft zwischen Spannbetonleiste und Putz ab.
40' - Versuchs- ende	Flämmchenbildung durch verbrennenden Kleber.
46'	Abplatzung am Auflagerbalken.
51'	Abplatzung am Auflagerbalken.
60'	Wasseraustritt auf der Außenseite des Auflagerbalkens.
100'	Eine seitliche Spannbetonleiste fällt ab.
105'	Zweite seitliche Spannbetonleiste fällt ab.
120'	Versuchsende.

4.2 Versuchskörper 2

4.2.1 Brandraumtemperatur

Der Versuchskörper 2 wurde 40 min lang der Beflammung ausgesetzt. Der Temperatur-Zeit-Verlauf im Brandraum entsprach der Einheitstemperaturkurve nach DIN 4102. Er ist auf Anlage 5 dargestellt.

4.2.2 Temperatur in der Klebfuge

In Anlage 8 ist der Verlauf des Temperaturanstiegs in der Klebfuge dargestellt. Dabei sind die Meßstellen in Fugenmitte als Meßstellen I und diejenigen am Fugenrand als Meßstellen II bezeichnet.

Unter Ausschluß der offenbar unsicher anzeigenden Meßpunkte ergibt sich für den Zeitpunkt $t = 30$ min in Fugenmitte eine mittlere Temperatur von $T_{\text{Mitte}} = (89+96+97+98+99+106):6 = 97,5^{\circ}\text{C}$ und am Fugenrand eine mittlere Temperatur von $T_{\text{Rand}} = (210+250+250+280+250+330):6 = 261,7^{\circ}\text{C}$. Wenn man die Temperaturverteilung über die Fugenbreite als quadratische Parabel annimmt, ergibt sich die mittlere Fugentemperatur zu:

$$T_{m \ 30'} = 98 + \frac{1}{3} (262 - 98) = 153^{\circ}\text{C}$$

Die entsprechenden Werte zum Zeitpunkt $t = 40$ min betragen:

$$T_{\text{Mitte}} = (107+108+111+121+121+137):6 = 117,5^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Rand}} = (270+320+335+375+285+405):6 = 331,7^{\circ}\text{C}$$

$$T_{m \ 40'} = 118 + \frac{1}{3} (332 - 118) = 189^{\circ}\text{C}$$

4.2.3 Durchbiegungen in Feldmitte

Folgende Durchbiegungen in Feldmitte wurden registriert:

$$\begin{aligned}
 f_{0'} (g+p) &= 0 \quad \text{gesetzt} \\
 f_{30'} &= 31,4 \text{ mm} \\
 f_{40'} &= 39,6 \text{ mm.}
 \end{aligned}$$

4.2.4 Sonstige Beobachtungen

Zeitpunkt	B e o b a c h t u n g e n
22'	Kleber tropft zwischen Spannbetonleiste und Putz ab.
26'	Putz reißt in der Kehle auf, ca. 50 cm lang, vom Leistenende ausgehend.
28'	Abgerissener Putz fällt ab.
30'	Eine seitliche Spannbetonleiste fällt ab.
35'	Putzriß in einer weiteren Kehle.
36' - Versuchs- ende	Flämmchenbildung durch verbrennenden Kleber.
40'	Eine mittlere Spannbetonleiste beginnt sich vom Auflager her abzulösen.
40'	Versuchsende.
Nach Versuchs- ende:	Beim Entlasten der Decke und Brennerausblasen fallen alle Spannbetonleisten ab.

4.3 Versuchskörper 3

4.3.1 Brandraumtemperatur

Der Versuchskörper 3 wurde 45 min lang der Beflammung ausgesetzt. Der Temperatur-Zeit-Verlauf im Brandraum entsprach der Einheitstemperaturkurve nach DIN 4102. Er ist auf Anlage 6 dargestellt.

4.3.2 Temperatur in der Klebfuge

In Anlage 9 ist der Verlauf des Temperaturanstiegs in der Klebfuge darge-

stellt. Dabei sind die Meßstellen in Fugenmitte als Meßstellen I und diejenigen am Fugenrand als Meßstellen II bezeichnet.

Unter Ausschluß der offenbar unsicher anzeigenden Meßpunkte ergibt sich für den Zeitpunkt $t = 30$ min in Fugenmitte eine mittlere Temperatur von $T_{\text{Mitte}} = (98+98+101+103+108):5 = 101,8^{\circ}\text{C}$ und am Fugenrand eine mittlere Temperatur von $T_{\text{Rand}} = (137+168+170+183+210+120+195):7 = 169^{\circ}\text{C}$. Wenn man die Temperaturverteilung über die Fugenbreite als quadratische Parabel annimmt, ergibt sich die mittlere Fugentemperatur zu:

$$T_{\text{m } 30'} = 102 + \frac{1}{3} (169 - 102) = 124^{\circ}\text{C}.$$

Die entsprechenden Werte zum Zeitpunkt $t = 40$ min betragen:

$$T_{\text{Mitte}} = (111+115+121+122+133):5 = 120,4^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{Rand}} = (219+225+234+245+268+305+260):7 = 250,9^{\circ}\text{C}$$

$$T_{\text{m } 40'} = 120 + \frac{1}{3} (251 - 120) = 164^{\circ}\text{C}.$$

4.3.3 Durchbiegung in Feldmitte

Folgende Durchbiegungen in Feldmitte wurden registriert:

$$f_{0'} (g+p) = 0 \quad \text{gesetzt}$$

$$f_{30'} = 29,7 \text{ mm}$$

$$f_{40'} = 35,6 \text{ mm}.$$

4.3.4 Sonstige Beobachtungen

Zeitpunkt	B e o b a c h t u n g e n
14'	Kleber tropft zwischen Spannbetonleiste und Putz ab.
26'	Putz reißt in der Kehle auf.
37'	Starke Putzrisse in der Kehle, ca. 60 cm lang, vom Leistenende ausgehend.
38'-Versuchs- ende	Flämmchenbildung durch verbrennenden Kleber.
45'	Eine mittlere Spannbetonleiste fällt ab.
45'	Versuchsende.
Nach Versuchs- ende:	Beim Entlasten der Decke und Brennerausblasen fallen die restlichen drei Spannbetonleisten ab.

5. Auswertung der Versuchsergebnisse

5.1 Eigenschaften des Klebers

Von der Herstellerfirma werden in [2] folgende Werte für das Verhalten des Epoxidharzklebers bei Normaltemperatur angegeben:

Druckfestigkeit	$\sigma_D = 1000 \text{ bis } 1100 \text{ kp/cm}^2$
Biegezugfestigkeit	$\sigma_B = 350 \text{ bis } 500 \text{ kp/cm}^2$
Elastizitätsmodul	$E = 30000 \text{ bis } 200000 \text{ kp/cm}^2$.

Die Werte schwanken in teilweise weiten Grenzen und sind abhängig von der Menge und Art des verwendeten Füllstoffes. Aus der Literatur [3] bekannte Versuchswerte an Gießharzbetonen liegen in den gleichen Größenordnungen.

In Karlsruhe durchgeführte Untersuchungen, von denen in [4] berichtet wird, über Schubfestigkeiten von 5 mm dicken Klebfugen lieferten Ergebnisse von $\tau = 80 \text{ kp/cm}^2$, wobei jedoch nicht die Klebfuge, sondern der umgebende Beton versagte.

In entsprechenden Versuchen wurden die Festigkeiten für Längskraft mit Schub zu $\tau = 270 \text{ kp/cm}^2$ ermittelt [4].

Der Wärmeausdehnungskoeffizient des ausgehärteten reinen Epoxidharzes beträgt nach [5]: $\alpha_T = 3 \cdot 10^{-5}$. Bei Zugabe von Quarzsand als Füller wird der Wärmeausdehnungskoeffizient jedoch weitgehend herabgesetzt, so daß die Einflüsse aus unterschiedlicher Wärmeausdehnung der Klebfuge und des anschließenden Betons geringfügig bleiben dürften.

Nach [5] sind Epoxidharze bis etwa $70 - 80^\circ\text{C}$ temperaturbeständig. Bei einer darüber hinausgehenden Erwärmung nehmen die Festigkeiten ab, bis bei etwa $150 - 200^\circ\text{C}$ durch Lösen der Polymerisation das Harz zerfällt.

Über die Veränderung des Elastizitätsmoduls bei erhöhten Temperaturen sind keine Untersuchungen bekannt.

5.2 Erwärmung der Klebfuge und Schutzwirkung des Putzes

Um gegebenenfalls die Möglichkeit zu haben, die in Frage stehen Konstruktionen in eine Feuerwiderstandsklasse nach DIN 4102 einzuordnen, wurden in 4.1.2, 4.2.2 und 4.3.2 die mittleren Temperaturen in der Klebfuge nach 30 min Versuchsdauer ermittelt. Außerdem wurden die entsprechenden Werte für 40 min Versuchsdauer, d.h. kurz vor Versagen der Prüfkörper 2 und 3, angegeben.

Es zeigt sich, daß in allen drei Fällen die 80°C -Grenze (s. 5.1) nach 30 min bereits überschritten ist, und zwar wurden beim ersten Versuch 107°C und beim dritten Versuch 124°C gemessen, während beim zweiten Versuch auch die 150°C -Grenze (s. 5.1) mit $T_{m\ 30'} = 153^\circ\text{C}$ schon erreicht war.

Die Temperaturen nach 40 min Versuchsdauer lagen in zwei Fällen jenseits der 150°C -Grenze, und zwar beim zweiten Versuch bei 189°C und beim dritten Versuch bei 164°C . Der erste Versuchskörper erreichte 142°C .

Die beträchtlichen Unterschiede der Temperaturwerte erklären sich in erster Linie durch die verschiedenen hohen Feuchtigkeitsgehalte des die Klebfuge schützenden Putzes.

Hervorgerufen durch den Energieverbrauch bei der Verdampfung des in den Kapillar- oder Gelporen befindlichen freien oder scheinbar gebundenen Wassers ist in den Temperaturbereichen um den Siedepunkt des Wassers bei Brandversuchen an Betonbauteilen stets eine Verzögerung der Erwärmungsgeschwindigkeit im Querschnitt festzustellen. Der gleiche Effekt wird hier durch den Putz erreicht. Ein Vergleich der Temperatur-Zeit-Diagramme (Anl. 7 - 9) zeigt, daß der "Siedehaltepunkt" bei den feuchteren Putzen der Versuchskörper 1 und 3 wesentlich deutlicher ausgeprägt ist als beim Versuchskörper 2, bei dem die Temperaturen in der Klebfuge relativ gleichmäßig ohne Verzögerung anstiegen. Die für den Kleber kritischen Temperaturen werden daher bei dem trockenerem Putz erheblich früher erreicht.

Haller gibt in [6] Werte für Gleichgewichtsfeuchtigkeiten von Mörteln an.

Zeile	Mörtel	Raumtemperatur in °C	Gleichgewichtsfeuchtigkeit bei relativer Luftfeuchtigkeit			
			70 %		35 %	
			Vol.-%	Gew.-%	Vol.-%	Gew.-%
1	Zementmörtel 1:6	18	4,2	2,0	2,2	1,1
2	Kalkmörtel 1:6		1,7	1,0	0,9	0,5
3	Kalkmörtel 1:4		1,4	0,8	0,6	0,3

Wenn man die Werte der Zeilen 1 und 3 mittelt und als gültig für den bei den Versuchen verwendeten Putz ansieht, so ergibt sich, daß die beim

Versuch 2 vorhandene Putzfeuchte der Ausgleichsfeuchte bei einem Raumklima 18/60 entspricht, während der Putz bei den Versuchen 1 und 3 nicht bis zur Ausgleichsfeuchtigkeit ausgetrocknet war.

Gegenüber dem Versuch 2 ist bei noch weiterer Putzaustrocknung keine Zunahme der Erwärmungsgeschwindigkeit in der Klebfuge zu erwarten, da die schlechtere Wärmeleitfähigkeit eines trockenen Putzes gegenüber einem feuchten das Verharren beim Siedepunkt des Wassers, das nach Anlage 8 nur undeutlich ausgeprägt ist, kompensieren dürfte.

Ein Vergleich der Versuche 1 und 3 mit annähernd gleicher Putzfeuchte zeigt, daß die Putzausführung beim Versuchskörper 1 (vergl. Anl. 7) die Klebfuge wirkungsvoller vor Wärmeeinwirkung schützt als die Ausführung bei den Versuchskörpern 2 und 3 (vergl. Anl. 8 und 9).

Der Versuchskörper 1 blieb trotz Erwärmung der Klebfuge weit über die Zerfallgrenze hinaus bis zum Abbruch des Brandversuchs nach 120 min tragfähig. Die schlaffe Transportbewehrung in den Deckenträgern (2 III Ø 8/Rippe) war zu schwach für die Aufnahme des Biegezugs. Es ist daher zu vermuten, daß eine gewisse Zugbandwirkung der abgelösten, aber an den Auflagern durch Reibung gehaltenen Spannbetonleisten eingetreten ist. Die für diesen Effekt erforderliche Reibung wurde dadurch erzeugt, daß die Gesamtlast der Decke über die Spannbetonleisten in die Unterkonstruktion geleitet wurde.

Durch Abschneiden der Spannbetonleisten vor dem Auflager wurde für die Versuche 2 und 3 die unerwünschte Zugbandwirkung ausgeschaltet.

5.3 Beanspruchung der Klebfuge infolge Wärmeeinwirkung

In Anlage 10 sind der Isothermenverlauf und die Temperaturgradienten in einer sanierten Decke nach 30 min Versuchsdauer dargestellt. Es zeigt sich, daß die Decke im Feldbereich im Mittel um rd. 65 grd erwärmt wird, während die mittlere Erwärmung der Rohdecke (ohne Leiste) im Bereich der ange-

klebten Spannbetonleiste rd. 15 grd beträgt. Etwa 80 % der Deckenfläche werden sich wie der Feldbereich, etwa 20 % wie der Leistenbereich erwärmen. Die mittlere Erwärmung der Rohdecke (ohne Leisten) beträgt dann:

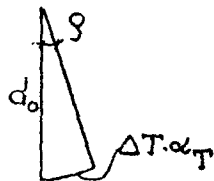
$$\Delta T_0 = 0,8 \cdot 65 + 0,2 \cdot 15 = 55 \text{ grd}$$

Es wird unterstellt, daß die Spannungen, die aus den unterschiedlichen Verformungsbestrebungen infolge unterschiedlicher Erwärmung der Deckenbereiche resultieren, sowie diejenigen aus ungleichmäßiger Erwärmung des Querschnitts im Deckengefüge aufgenommen werden.

Wenn das Deckenelement keiner Längsdehnungsbehinderung unterliegt, beträgt die Längsdehnung aus ΔT :

$$\begin{aligned}\varepsilon &= \Delta T \cdot \alpha_T \\ \varepsilon_{00} &= 0 \cdot \alpha_T \quad \text{am oberen Rand} \\ \varepsilon_{u0} &= 2 \cdot 55 \cdot \alpha_T = 110 \alpha_T \quad \text{am unteren Rand}\end{aligned}$$

Die Krümmung der Rohdecke aus ΔT beträgt:



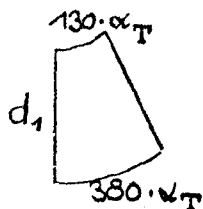
$$\varphi_0 \sim \tan \varphi_0 = \frac{\Delta T \alpha_T}{d_0} = \frac{110}{26} \alpha_T = 4 \alpha_T$$

Die mittlere Erwärmung der Spannbetonleiste beträgt rd. 255 grd, diejenige am oberen Rand 130 grd (nach 4.22), und die aus dem linearen Anteil am unteren Rand 380 grd.

Denkt man sich die Klebfuge scher- und zugbeweglich, dann betragen die Längsdehnungen der Spannbetonleiste aus ΔT :

$$\begin{aligned}\varepsilon_{01} &= \Delta T \cdot \alpha_T = 130 \cdot \alpha_T \quad \text{am oberen Rand} \\ \varepsilon_{u1} &= 380 \cdot \alpha_T \quad \text{am unteren Rand}\end{aligned}$$

Unter der gleichen Voraussetzung beträgt die Krümmung der Leiste aus ΔT :



$$\varphi_1 \sim \tan \varphi_1 = \frac{(380 - 130) \alpha_T}{6} = 42 \alpha_T$$

Durch Zwang (Spannungen in der Klebfuge) werden die Verformungen

$$\begin{aligned}\epsilon_{uo} &= \epsilon_{o1} & \text{und} \\ \rho_o &= \rho_1.\end{aligned}$$

Im angeführten Beispiel entstehen aus Brandbeanspruchung keine Schubspannungen in der Klebfuge, da ohne ihre Wirkung bereits $\epsilon_{uo} \sim \epsilon_{o1}$. Es ist zu schließen, daß auch bei etwas anderer Temperaturverteilung die zusätzlichen Schubspannungen nur gering sind. Die aus Gebrauchslast vorhandenen Schubspannungen in der Fuge betragen nach 3.2 rd. 5 kp/cm^2 und sind vergleichsweise gering im Vergleich zu den in [4] dargestellten Bruchwerten. Sie werden, wie die Versuchsergebnisse beweisen, auch von einem Kleber, der durch Wärmeeinwirkung an Festigkeit verloren hat, noch aufgenommen.

Da die Spannbetonleiste das Bestreben hat, sich infolge Wärmeeinwirkung wesentlich stärker zu krümmen als die Rohdecke ($\rho_1 \sim 10 \rho_o$), vergrößern die daraus resultierenden Zugspannungen senkrecht zur Klebfuge die aus Eigengewicht der Leiste schon vorhandenen. Insgesamt bleibt die Beanspruchung senkrecht zur Fuge aber gering.

Im Endbereich der Leisten tritt im Versuch wie auch in praktischen Fällen eine vergünstigende Wirkung durch Wärmeableitung in die Auflagerkonstruktion und die damit verbundene langsamere Erwärmung der Klebfuge auf. Es ist dann auch eine Konzentrierung der Kopplungskräfte zwischen Rohdecke und Spannbetonleiste im Auflagerbereich infolge stärkeren Festigkeitsabfalls in Feldmitte noch hinreichend aufzunehmen.

5.4 Zusammenfassung

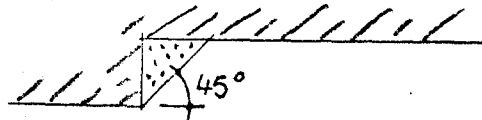
Unter Versuchsbedingungen, bei denen die Deckenplatte ein statisch bestimmtes, frei verformbares System bildete, blieben die drei Probekörper länger als 30 min tragfähig.

Die Temperaturen in der Klebfuge lagen nach 30 min Versuchsdauer an der Grenze des Zerfalls des Epoxidharzes.

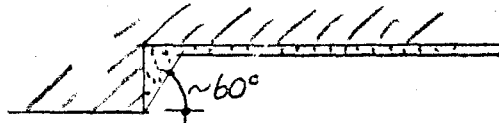
Die Erhaltung der Funktionsfähigkeit des Klebers an dieser Grenze ist er-

klärbar durch die geringen Spannungen der Klebfuge im Gebrauchszustand und die nur unerheblichen zusätzlichen Beanspruchungen im Brandfall.

Durch Verputzen der Kehle zwischen Deckenspiegel und Spannbetonleiste als gleichschenkliges Dreieck



wird ein wirksamerer Wärmeschutz der Klebfuge erreicht als durch eine steilere Putzkehle in Verbindung mit Putz des Deckenspiegels.



Bei der praktischen Ausführung der Sanierung ist darauf zu achten, daß unter dem Putz ein Zementspritzwurf aufgebracht wird, um möglichst einwandfreie Putzhaftung zu gewährleisten.

5.5 Schlußfolgerung

Das Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau der Technischen Universität Braunschweig hat keine Bedenken dagegen, eine Deckenkonstruktion, die im ursprünglich vorhandenen Zustand den Anforderungen der Feuerwiderstandsklasse F 30 entsprach und die in der beschriebenen Art saniert wurde, in die Feuerwiderstandsklasse F 30 (feuerhemmend) einzustufen.

Literaturverzeichnis

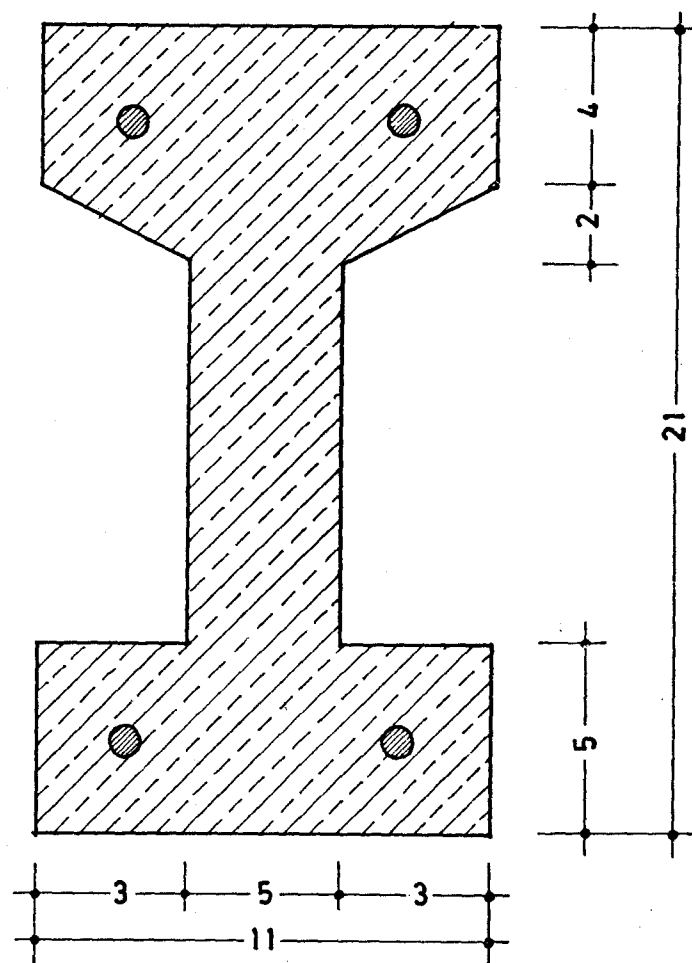
- [1] Ergebnisse der im Zusammenhang mit den Untersuchungen der Schadensfälle an Spannbetondecken aus Tonerdeschmelzzement am Materialprüfungsamt München durchgeführten und laufenden Arbeiten;
MPA für das Bauwesen der Technischen Hochschule München, November 1967
- [2] Technisches Merkblatt Icosit - Kunststoff KC 220; Lechler-Chemie GmbH., Stuttgart
- [3] G. Franz und R. Boßler:
Prüfung der wichtigsten Stoffeigenschaften von Gießharzbeton;
Betonsteinzeitung 1962
- [4] G. Franz: Die Verbindung von Betonfertigteilen mit Gießharzen;
VDI - Zeitschrift 1963
- [5] R. Bühner und J. Eisenmann: Verwendung neuartiger Kunststoffe im Massivbau; Beton- und Stahlbetonbau 1963
- [6] P. Haller: Der Austrocknungsvorgang von Baustoffen; EMPA-Bericht, Zürich 1942.

Verzeichnis der Anlagen

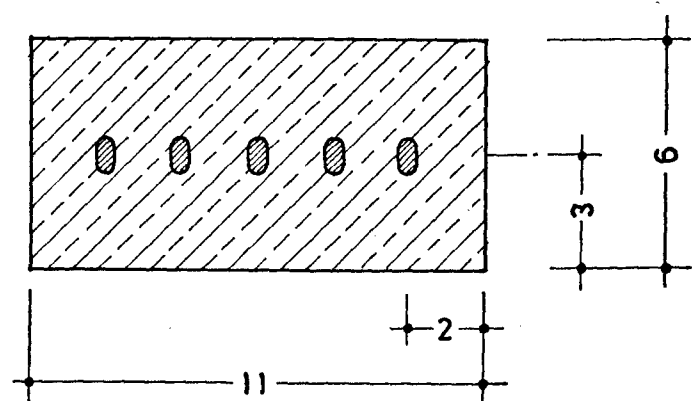
Anlage 1 Querschnitt der Stb - Deckenbalken und Spannbeton-Leisten

"	2	Konstruktions- und Bewehrungsplan der Prüfkörper	
"	3	Versuchsanordnung	
"	4	Temperaturen im Brandraum, Prüfkörper	1
"	5	" " " "	2
"	6	" " " "	3
"	7	Temperaturen in der Klebfuge,"	1
"	8	" " " "	2
"	9	" " " "	3
"	10	Temperaturgradienten und Isothermenverlauf nach 30 min Versuchsdauer.	

Stahlbeton - Balken $l = 5,00 \text{ m}$
B 450 **4 St III $\varnothing 8 \text{ mm}$**



Spannbeton-Leisten $l = 5,00 \text{ m}$
B 600 **5 SIGMA-St 145/160 oval 30**
 Spannbett-Vorspannung: $\sigma_{zv}^{(0)} = 8\,200 \text{ kp/cm}^2$



Querschnitt der Stb.-Deckenbalken
 und Spannbeton-Leisten

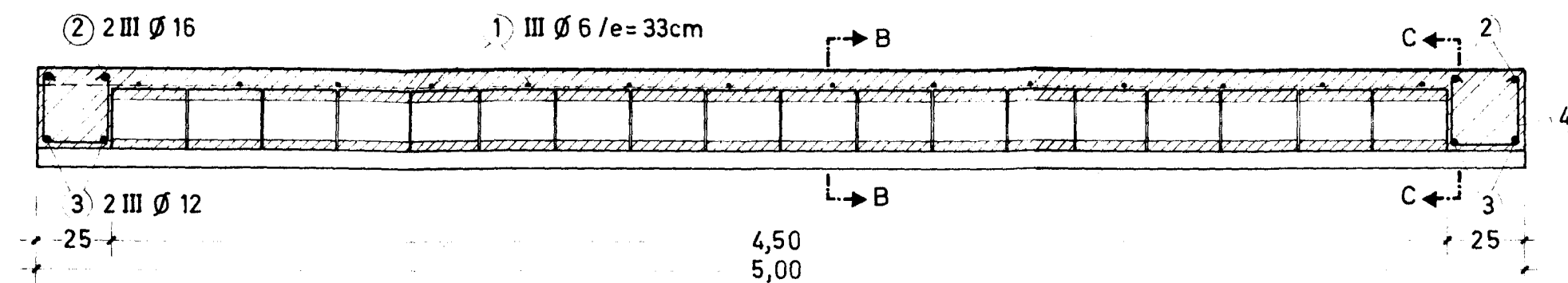
Prüfkörper 1-3

Brandversuche an sanierten Spannbetonträgern

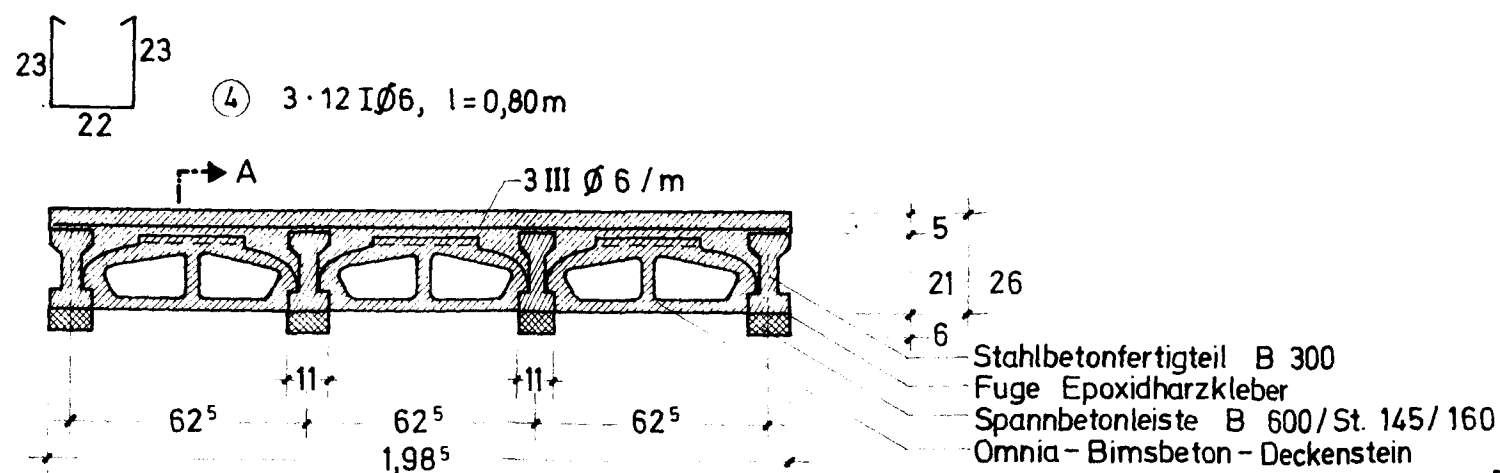
Anlage 1

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Längsschnitt
(A-A)

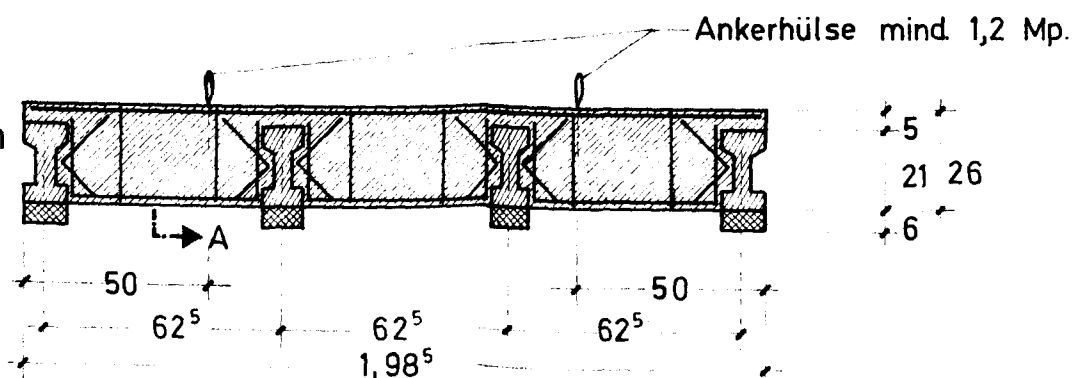


Querschnitt
(B-B)

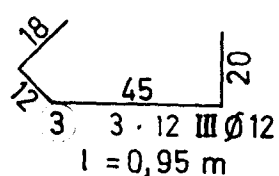


1) 3 · 14 III Ø 6, e = 33 cm, l = 1,90 m
1,90

Auflagerbalken
(C-C)



2) 3 · 4 III Ø 16, l = 1,90 m
1,90



Pos.	Stck.	Ø	l [m]	L [m]			
				III Ø 6	III Ø 12	III Ø 16	I Ø 6
1	42	III 6	1,90	79,8			
2	12	III 16	1,90			22,8	
3	36	III 12	0,95		34,20		
4	36	I 6	0,80				28,80
g [kg]				17,71	30,37	36,02	6,39
ohne Verschnitt 84,1 kg St. III ; 6,39 kg St. I							

Ortbeton B 225

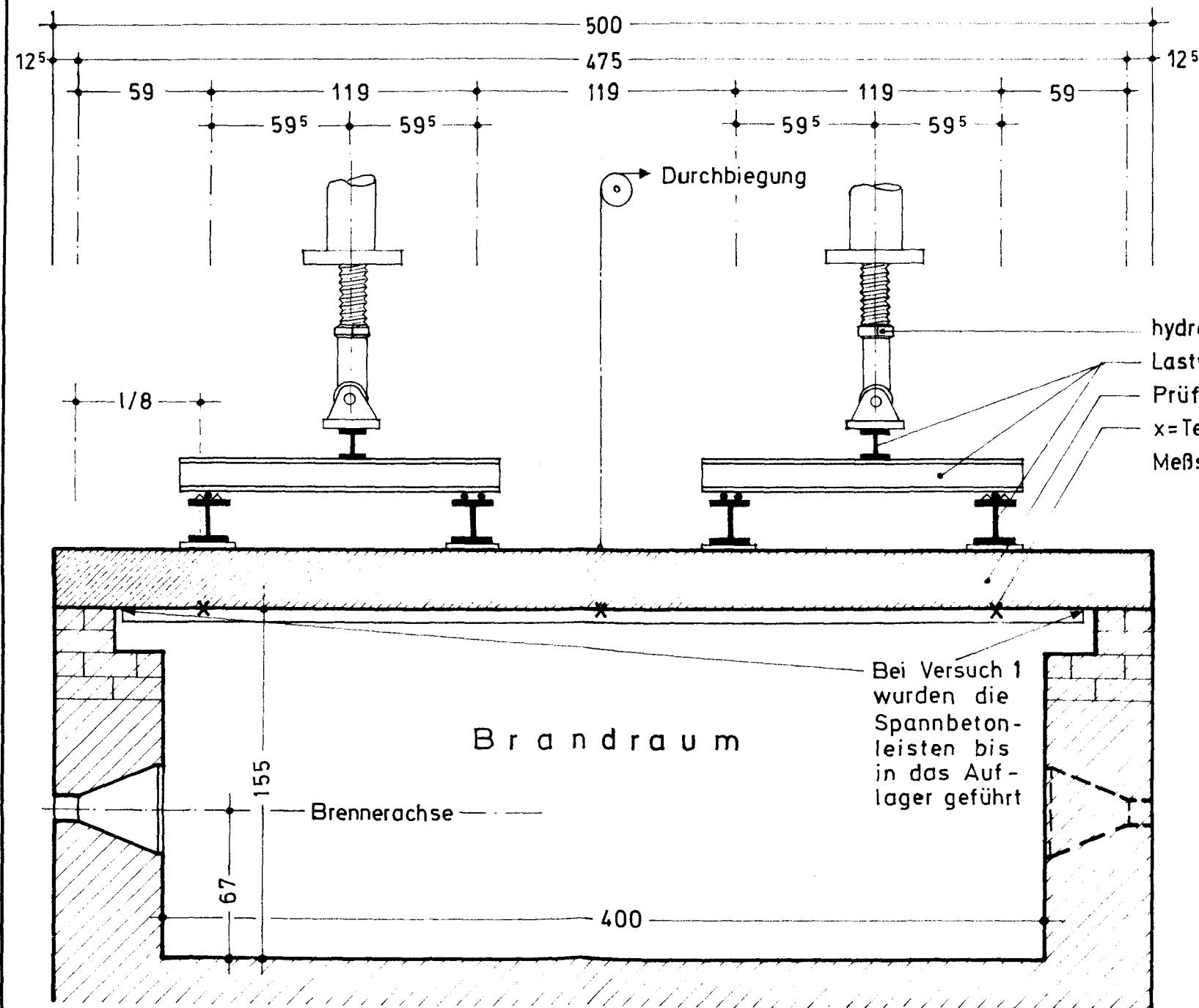
Maßstab 1:20

Konstruktions- und Bewehrungsplan
der Prüfkörper

Prüfkörper 1-3

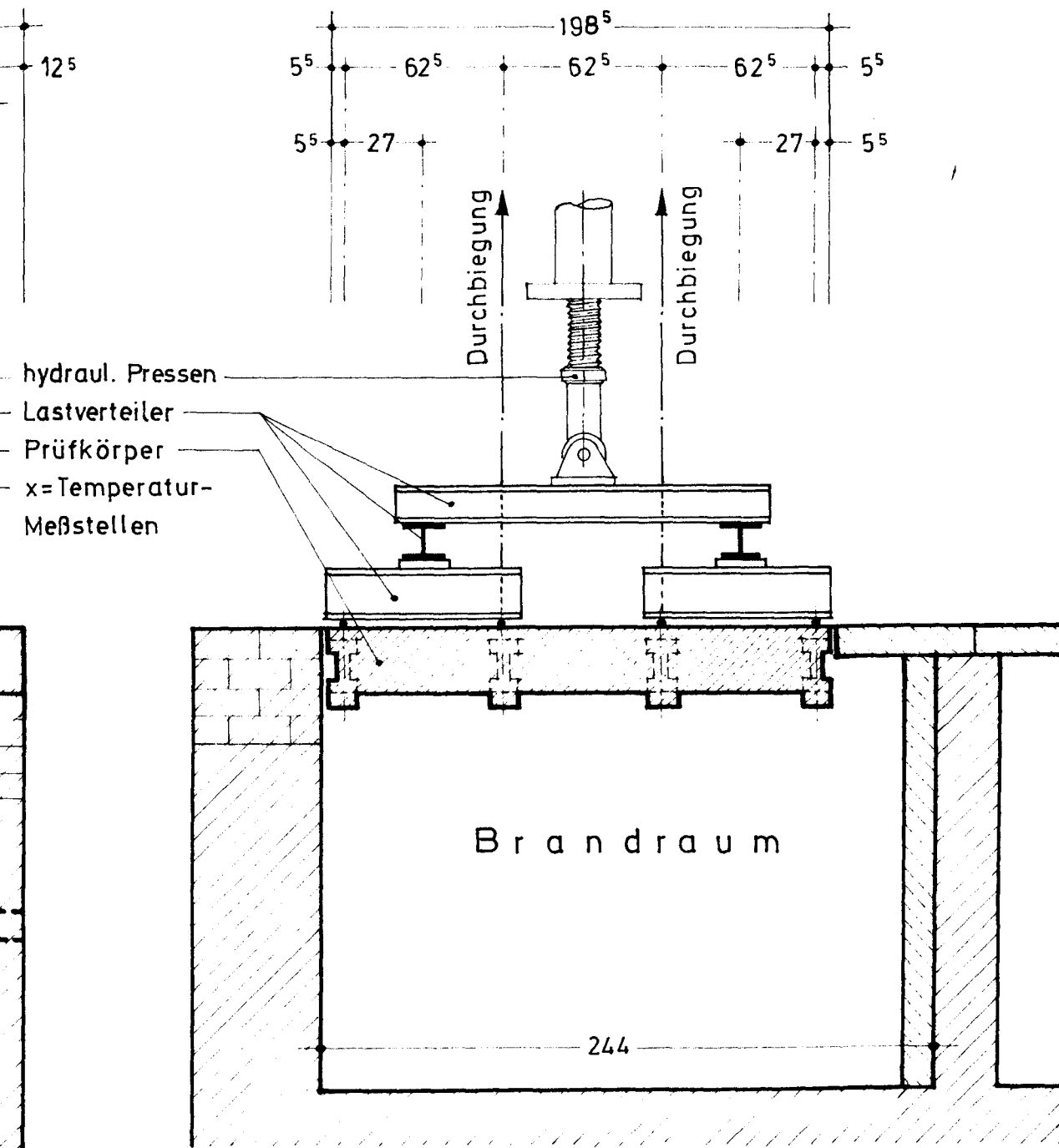
Brandversuche an sanierten Spannbetonträgern

Anlage 2



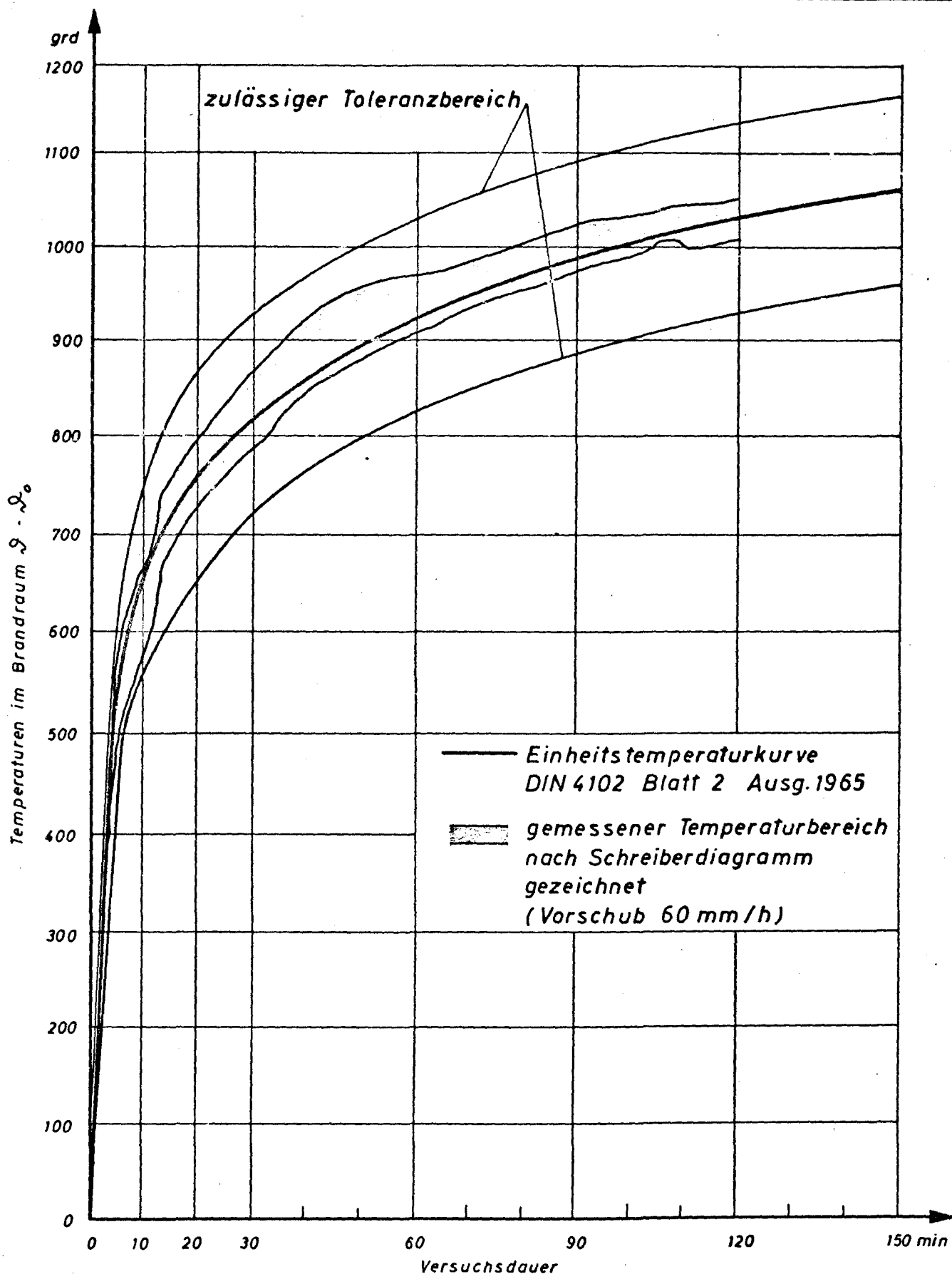
Längsschnitt

M = 1 : 25



Querschnitt

Versuchsanordnung	Prüfkörper 1-3
Brandversuche an sanierten Spannbetonträgern	Anlage 3
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen	



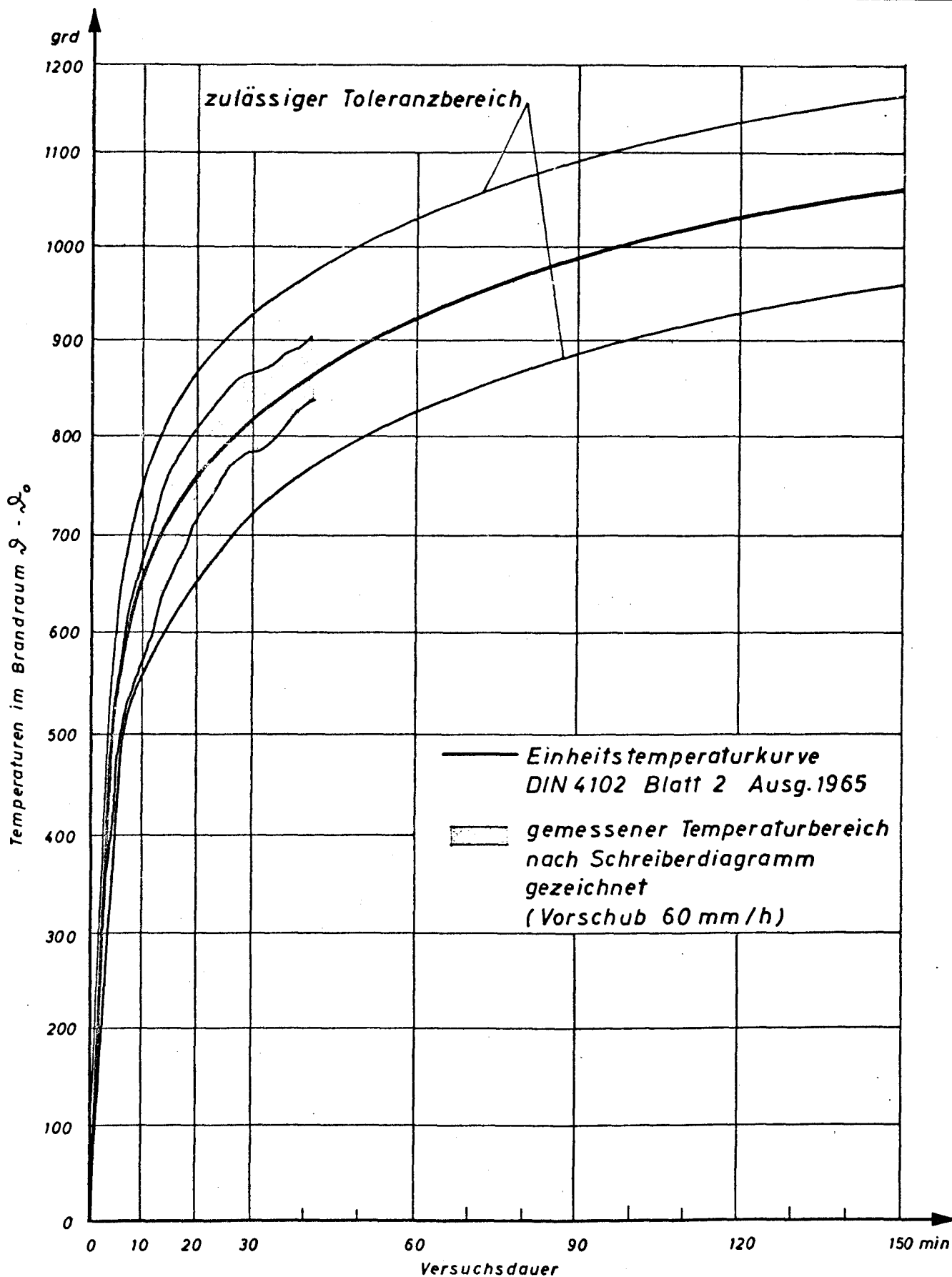
Temperaturen im Brandraum

Prüfkörper 1

Brandversuche an sanierten Spannbetonträgern

Anlage 4

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen



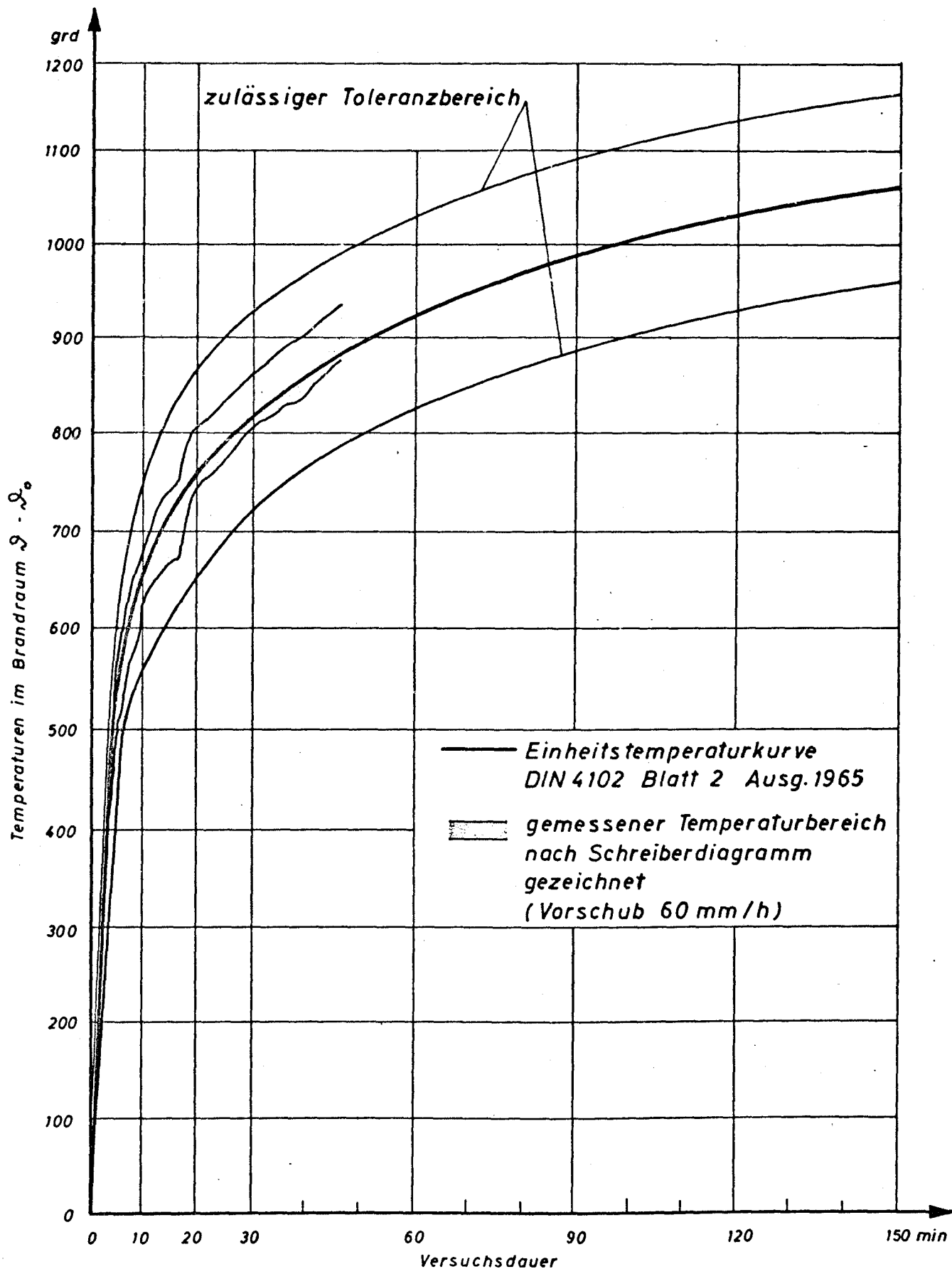
Temperaturen im Brandraum

Prüfkörper 2

Brandversuche an sanierten Spannbetonträgern

Anlage 5

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen



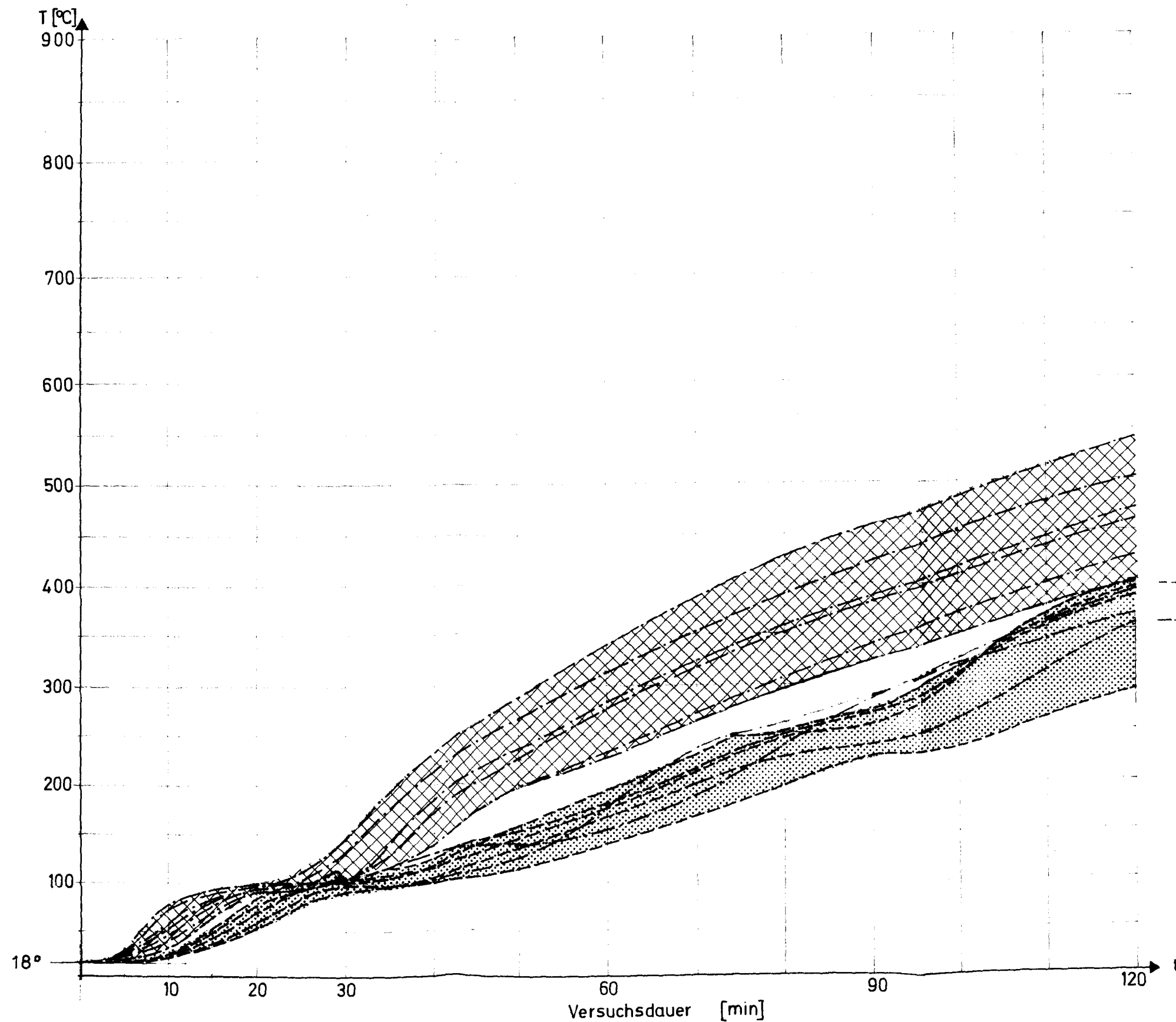
Temperaturen im Brandraum

Prüfkörper 3

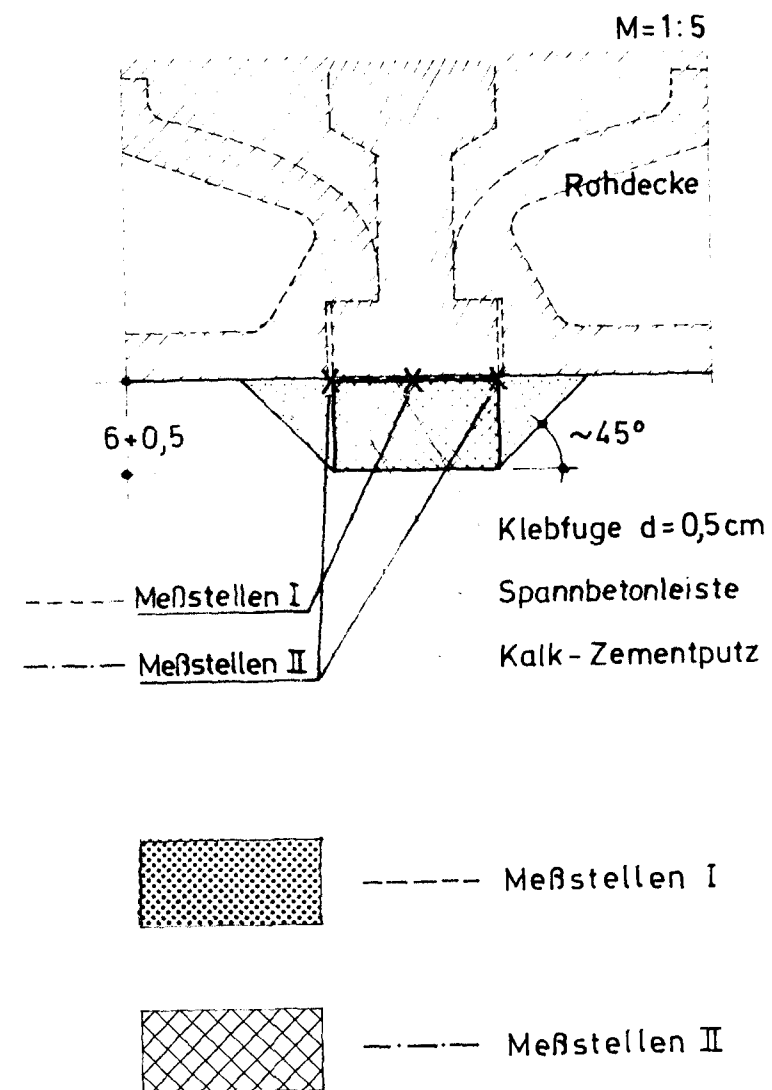
Brandversuche an sanierten Spannbetonträgern

Anlage 6

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
Technische Hochschule Braunschweig
Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

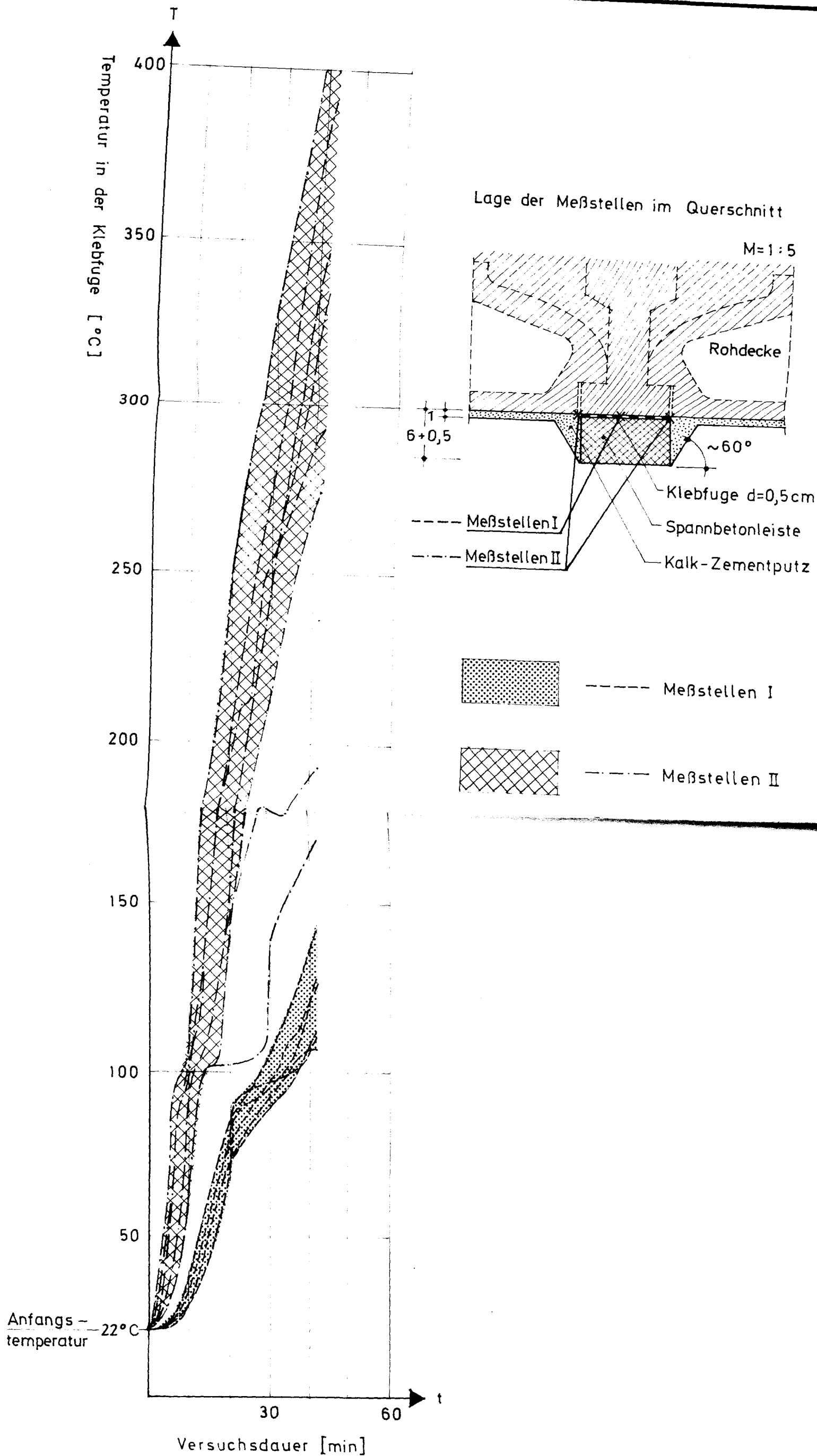


Lage der Meßstellen im Querschnitt

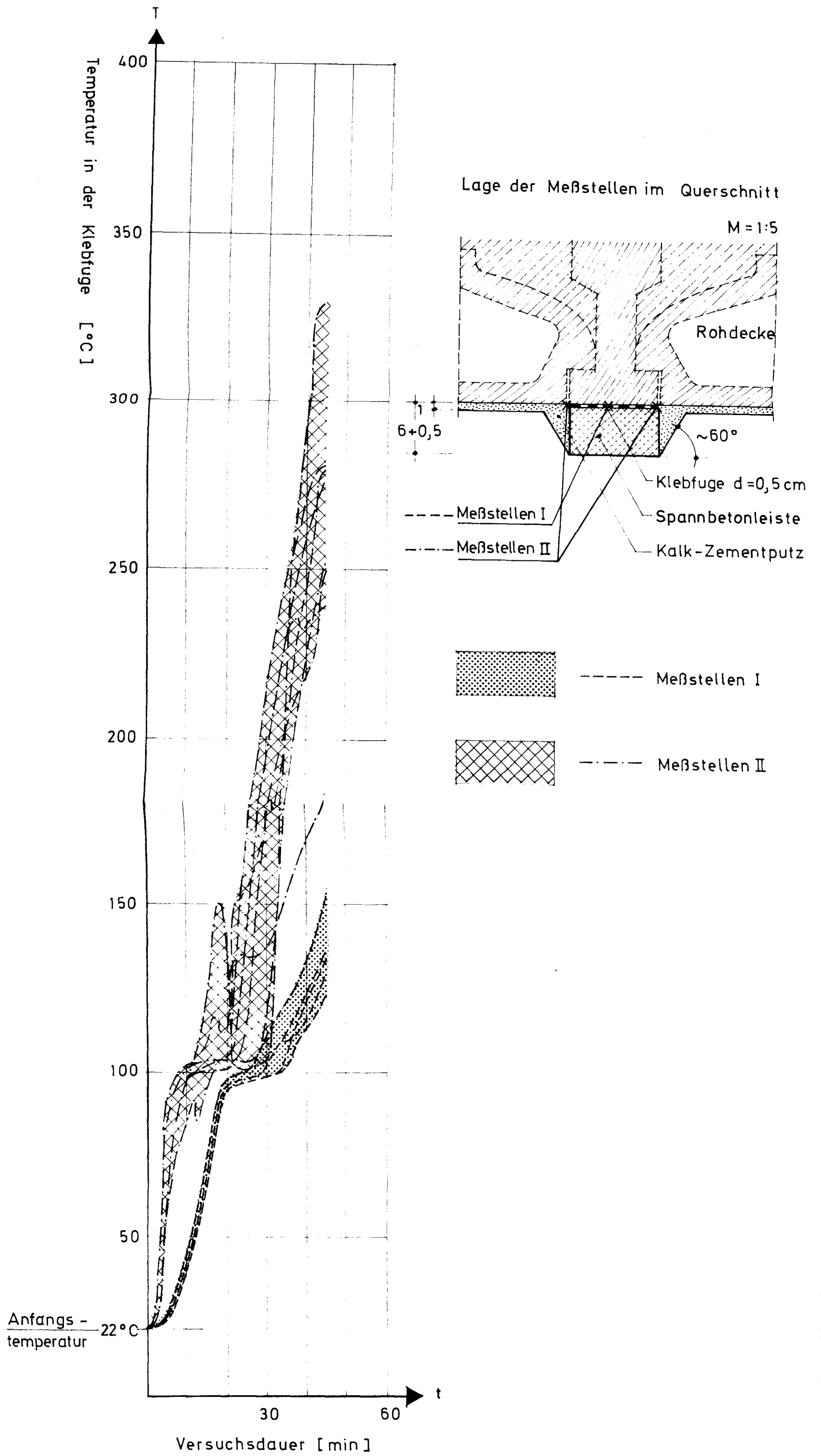


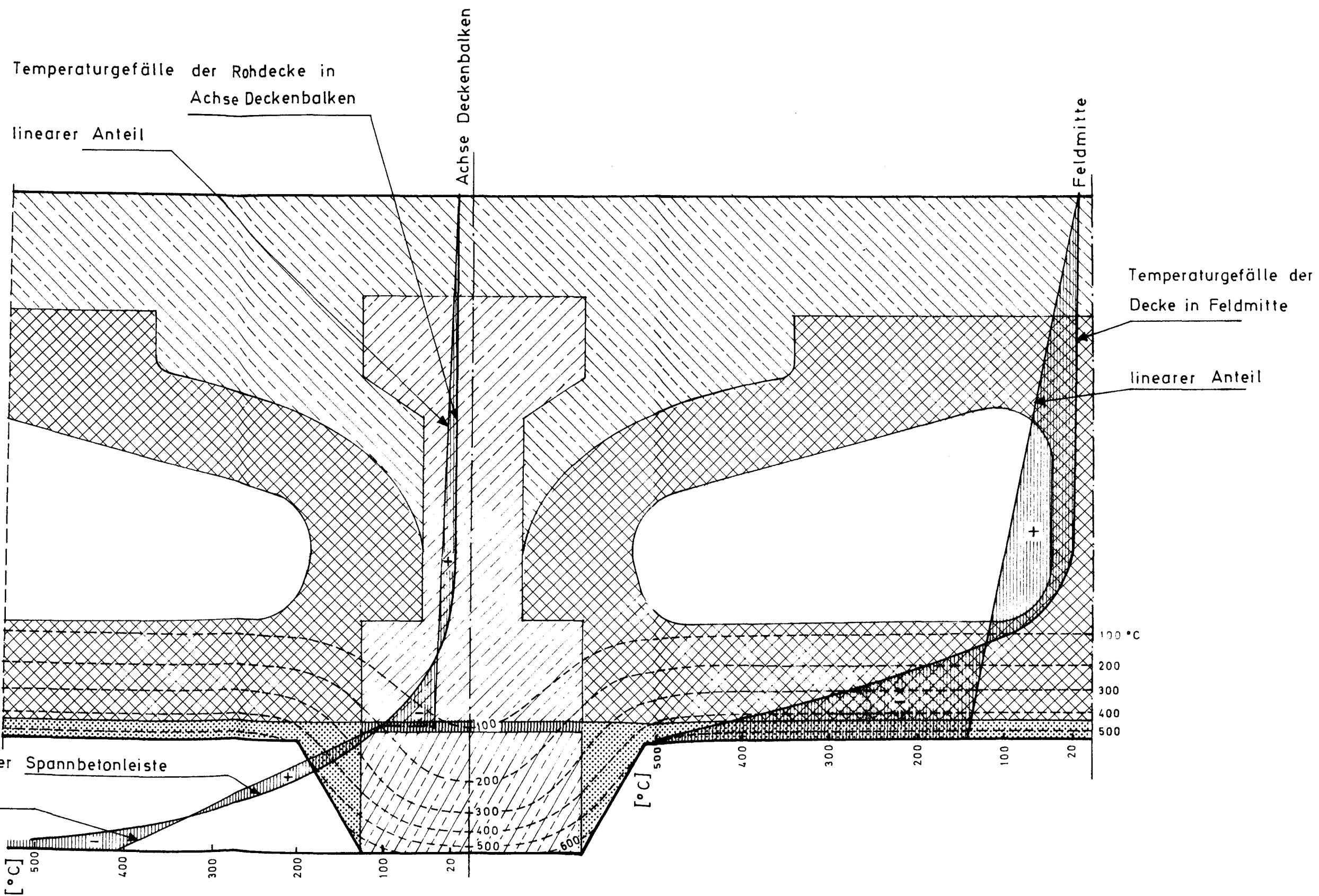
Temperatur in der Klebfuge	Prüfkörper 1
Brandversuche an sanierten Spannbetonträgern	Anlage 7

<p>Temperatur in der Klebfuge</p>	<p>Prüfkörper 2</p>
<p>Brandversuche an sanierten Spannbetonträgern</p>	<p>Anlage 8</p>
<p>Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen</p>	



Temperatur in der Klebfuge		Prüfkörper 3
Brandversuche an sanierten Spannbetonträgern		
Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau Technische Universität Braunschweig Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen		Anlage 9





— Temperaturgradienten
 ---- Isothermen

Temperaturgradienten u. Isothermenverlauf [°C]
 nach 30 min Versuchsdauer

Brandversuche an sanierten Spannbetonträgern

Institut für Baustoffkunde und Stahlbetonbau
 Technische Universität Braunschweig
 Amtliche Materialprüfanstalt für das Bauwesen

Anlage 10